Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 229-240

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۴۰-۲۲۹

اثر زمان برداشت بر تلفات ذرت و پیش‌بینی آن با منطق فازی در منطقه مغان

مهدی عباسقلی پور[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸

چکیده

در این تحقیق تلفات برداشت ذرت با کمباین جاندیر مدل ۱۱۶۵ در منطقه مغان در شرایط آب و هوایی مختلف در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. تلفات واحد فرآوری و واحد جمع‌آوری کمباین در تاریخ‌های ۱۴، ۱۷ و ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۶ و در سه زمان برداشت در طول روز ساعت ۱۰-۸، ۱۳-۱۱ و ۱۶-۱۴ با سه تکرار اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را بین تاریخ‌ها و زمان‌های برداشت در سطح احتمال ۵٪ نشان داد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن، کمترین تلفات در تاریخ ۱۷ آبان ماه ساعت ۱۶-۱۴ به مقدار ۱۰/۰۵٪ بود و بیشترین آن مربوط به ۲۰ آبان ساعت ۱۰-۸ به مقدار ۱۲/۷۸٪ اندازه‌گیری شد. رطوبت بالای هوا و پایین بودن دمای هوا از دلایل افزایش تلفات بود. در ادامه تحقیق با توجه به تاثیر زمان برداشت در میزان تلفات، برای پیش‌بینی مناسب‌ترین زمان برداشت اقدام به طراحی یک سیستم خبره فازی گردید که در آن تلفات واحد فرآوری، واحد جمع‌آوری و رطوبت هوا به‌عنوان ورودی‌های سیستم و زمان برداشت به‌عنوان خروجی آن در نظر گرفته شد. برای ایجاد سیستم خبره فازی از موتور استنتاج ممدانی با فازی‌ساز منفرد و غیرفازی‌ساز میانگین مراکز استفاده شد. ضریب تبیین ۰/۹۸ نشان‌دهنده همبستگی زیاد نتایج پیش‌بینی بهترین زمان برداشت با مقادیر اندازه‌گیری شده بود. بنابراین سیستم فازی طراحی شده با دقت بالایی زمان برداشت ذرت را پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تلفات برداشت، زمان برداشت، سیستم خبره فازی

مقدمه

محصول ذرت دارای مواد قندی و نشاسته‌ای زیادی است و از این رو یکی از بهترین نباتات علوفه‌ای برای مصرف به‌صورت تازه یا سیلویی به‌شمار می‌رود. بعد از رسیدن فیزیولوژیک ذرت (تشکیل لایه سیاه در محل اتصال دانه به خوشه) آب گیاه قطع می‌گردد. سپس زمانی که رطوبت دانه بین ۲۵-۲۰ درصد رسید برداشت ذرت دانه‌ای انجام می‌شود (Price, 1997). برداشت مکانیزه غلات و جداسازی آنها از قسمت‌های دیگر محصول با کمترین میزان تلفات و حداکثر کیفیت، از اهداف اصلی محققین در این زمینه بوده است. برداشت ذرت با کمباین و میزان تلفات و ریزش آن به عواملی چون زمان برداشت، رطوبت دانه، درجه حرارت محیط، وضعیت مزرعه (خوابیدگی)، وضعیت کمباین (نو یا فرسوده بودن آن) و تجربه راننده بستگی دارد. باتوجه به افزایش روزافزون سطح زیرکشت ذرت در منطقه مغان و برداشت زودهنگام نسبت به سایر محصولات مانند سویا، جهت کشت محصولات پاییزه، اهمیت بررسی زمان مناسب برداشت و ارائه راهکارهای مناسب در این زمینه جهت افزایش عملکرد و کاهش تلفات ضروری می‌باشد. تلفات محصول را نمی‌توان به صفر کاهش داد ولی با استفاده از زمان مناسب و رطوبت صحیح محصول، امکان کاهش آن به سطح قابل‌قبول وجود دارد. بر این اساس جهت کاهش تلفات ریزش و توجیه فنی و اقتصادی، این تحقیق انجام گردید. طبق گزارش‌های ارائه شده توسط دفتر طرح ذرت، میزان تلفات کمباین‌های موجود کشور حداقل ۱۰ درصد می‌باشد (Mostofi Sarkari, 2011; Mostofi Sarkari *et al.*, 2014) که با توجه به میزان تولید ذرت دانه‌ای در کشور در سال ۲۰۱۵ حداقل ۱۱۶۸۶۳ تن تلفات وجود دارد (FAO statistics, 2015) و براساس قیمت تضمینی خرید در این سال (۱۰۳۶۸ ریال به‌ازای هر کیلو ذرت دانه‌ای) مبلغی بالغ بر ۱/۲۱۲ میلیارد ریال به ضرر کشور می‌باشد. تاکنون تحقیقات متعددی درخصوص بررسی تلفات کمباین ذرت ناشی از عوامل مختلف صورت گرفته است. تیمارهای رطوبت محصول در زمان برداشت، سرعت پیشروی کمباین و سرعت سیلندر کوبنده پارامترهای اساسی در اندازه‌گیری تلفات می‌باشند (Shay *et al.*, 1999; Shauck and Smeda, 2011; Paulsen *et al.*, 2014; Prochnow *et al.*, 2015; Humburg, 2016). تحقیقی که در منطقه قزوین انجام شده بود نشان داد که مناسب‌ترین رطوبت دانه برای برداشت ۲۳ درصد، مناسب‌ترین سرعت کوبنده ۴۰۰ دور در دقیقه و مناسب‌ترین سرعت پیشروی ۴/۲ کیلومتر در ساعت بود. در این صورت تلفات کل دانه به کمترین مقدار خود رسید (Mostofi Sarkari, 2011). با توجه به این‌که رطوبت دانه ذرت تاثیر به‌سزایی در میزان تلفات برداشت دارد بر این اساس تحقیقات متعددی در این زمینه انجام گرفته است. به طوری‌که در تحقیقی اثر سه سطح رطوبت ۳۰-۲۸، ۲۳-۲۰ و ۱۲-۱۰ درصد بر

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Abbasgholipour@bonabiau.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v10i2.73290

روی عملکرد و کیفیت ذرت دانه‌ای و کاه ذرت بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در میزان رطوبت ۱۲-۱۰ درصد عملکرد دانه نسبت به سطوح دیگر مقدار بیشتری را نشان می‌دهد در حالی‌که مقدار وزنی چوب بلال، کاه ذرت، کل بقایای گیاهی و عملکرد کل ماده خشک کاهش یافته است (Tolera *et al.*, 1998). محققین برزیلی طبق تحقیقی که انجام دادند مناسب‌ترین رطوبت دانه ذرت در هنگام برداشت را ۱۴ درصد اعلام کردند. عملکرد ذرت در این رطوبت از ۶۹۳۷ تا ۱۱۰۴۴ کیلوگرم به‌ازای هر هکتار گزارش شد. تلفات کل کمباین ذرت از ۳۶/۲ تا ۳۲۰/۶ کیلوگرم به‌ازای هر هکتار اندازه‌گیری شد. به عبارتی تلفات از ۰/۳ تا ۳/۶ درصد به‌دست آمد (Paulsen *et al.*, 2014). در تحقیق دیگری محققین نشان دادند که تلفات دانه با روند مطلوب برداشت، کاهش یافت و به حدود ۴ تا ۶ درصد و تقریباً میانگین ۵ درصد رسید. در این تحقیق از پایشگر تلفات دانه برای کنترل تلفات فرآوری (تلفات کوبنده و تمیزکننده) استفاده شد (Spengler *et al.*, 2003). با بررسی منابع می‌توان به این نتیجه دست یافت که در زمینه پیش‌بینی زمان برداشت محصول تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. با توجه به محدودیت‌های روش‌های تحلیلی و رگرسیونی در کاربردهای پیش‌بینی، استفاده از داده‌های پارامترهای مختلف برداشت ذرت ازجمله تلفات واحدهای فرآوری و جمع‌آوری و رطوبت به‌منظور پیش‌بینی مناسب‌ترین زمان برداشت، مجموعه داده خوبی را برای کار در هوش مصنوعی فراهم می‌کند. در حال حاضر، روش‌های مختلف در نرم‌افزارهای محاسباتی مبتنی بر آمار، شبکه عصبی (Neural network) و فازی (Fuzzy) برای تحلیل داده‌های تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ross, 1995). رویکرد مبتنی بر منطق فازی به‌عنوان یک جایگزین برای دانش تخصصی، در نظر گرفته می‌شود که بسیار انعطاف‌پذیر بوده و به‌درستی مقادیر مجهول داده‌های مدل را تخمین می‌زند و تا سطح بالایی توانایی بیان نزدیک به واقعیات را دارد (Karatalopoulos, 2000). هدف از سیستم‌های فازی، قرار دادن دانش بشری در سیستم‌های مهندسی به شکل سیستماتیک، قابل تجزیه، تحلیل و مؤثر می‌باشد. استنتاج فازی فرآیند واقعی نگاشت داده‌ها از مجموعه متغیرهای ورودی به خروجی براساس مجموعه‌ای از قواعد فازی است. چهار واحد اساسی و لازم برای استفاده موفق از هر رویکرد مدل‌سازی فازی وجود دارد که عبارتند از: پایگاه قواعد فازی (Fuzzy rule base)، موتور استنتاج فازی (Fuzzy inference motor)، فازی‌ساز (Fuzzification)، غیر فازی‌ساز (Defuzzification) (Wang, 1997). تاکنون از سیستم فازی برای پیش‌بینی بهترین زمان برداشت ذرت استفاده نشده است. اما در تحقیقاتی از این سیستم برای دستیابی به تلفات قابل‌قبول در قسمت فرآوری کمباین استفاده شده است. سیستم کنترل فازی مذکور دانش اپراتورهای ماهر را با داده‌های موجود ترکیب نموده است تا مقدار تلفات واحد فرآوری بهینه شود و به‌ازای نرخ تغذیه مشخص سطح مطلوبی از مواد غیردانه‌ای در مخزن دانه حاصل گردد. نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای در برداشت گندم حاکی از سودمند بودن این سیستم کنترلی در شرایط متغیر محیطی بود (Craessaerts *et al.*, 2010). در مطالعه دیگری سیستم کنترل‌کننده فازی به‌دست آمده از دانش شخص خبره را برای کنترل و تنظیم خودکار کمباین جهت دستیابی به حداقل تلفات دانه‌ای به‌ویژه در غربال و الک بالایی استفاده کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای در شرایط زراعی آبی و دیم، تأثیر نصب سیستم کنترلی فوق بر روی کمباین را در کاهش تلفات، مثبت ارزیابی کردند (Omid *et al.*, 2010). با بررسی تحقیقات مذکور برروی تلفات برداشت، مشخص شد که در اکثر تحقیقات درخصوص تنظیمات کمباین و رطوبت بحث شده است و لیکن تحقیقی در رابطه با بررسی تاثیر زمان برداشت در تلفات کمباین صورت نگرفته است. به غیر از اینکه در تحقیقی تـأثیر زمـان برداشت بر خصوصیات فیزیکی دانه ذرت مورد بررسـی قـرار گرفـته ولی درخصوص تلفات برداشت بحثی انجام نگرفته است، نتایج این تحقیق نشان داد که تأخیر در برداشت باعث افزایش چگالی توده، وزن دانه و چگالی حقیقی در هیبریدهای ذرت می‌شود (Kordi, 2012). بر همین اساس کشاورزان در زمینه زمان برداشت در شرایط متفاوت و جلوگیری از تلفات اضافی، اطلاعات کافی در دسترس نداشتند. در منطقه مغان کشت محصول ذرت در یک کشت وصنعت واحد در سطح وسیعی انجام می‌گیرد و رطوبت محصول قابل برداشت در مزرعه‌های مختلف در آن کشت صنعت متغیر می‌باشد. به عبارت دیگر رطوبت در زمان برداشت در منطقه مغان در محدوده بین ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌باشد. به‌علاوه این‌که بازه زمانی لازم برای برداشت ذرت هم‌زمان با بارش‌های پاییزه است. لذا برای جلوگیری از تاخیر در برداشت، از دست ندادن کشت بعدی و انتخاب ترتیب برداشت مزرعه‌ها در یک کشت و صنعت، برآورد زمان مناسب برای برداشت ذرت امری ضروری می‌باشد. این موضوع هدف اصلی تحقیق حاضر می‌باشد. بر همین اساس در این تحقیق اثر زمان برداشت در طول ماه و در طول روز بر مقدار تلفات برداشت ذرت در منطقه مغان مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای به‌دست آمده اقدام به طراحی سیستم فازی برای پیش‌بینی بهترین زمان برداشت ذرت گردید. در ادامه به نحوه پیاده‌سازی سیستم فازی و اندازه‌گیری تلفات کمباین و نقش آنها در انتخاب زمان مناسب برداشت پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تاریخ‌های کاشت ذرت دانه‌ای رقم متداول منطقه (سینگل کراس ۷۰۴) در منطقه مغان معمولاً از ۱۰ تا ۲۰ اردیبهشت ماه می‌باشد که عملیات کاشت در این طرح در تاریخ ۹۶/۰۲/۱۰ آغاز گردید. جهت

کاشت بذر از ردیف‌کار پنوماتیکی ذرت مدل SP (۴ ردیفه با عرض کار ۳ متر و ۵ واحد کارنده) شرکت ماشین بذرسازان به مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. با توجه به این‌که برداشت ذرت در منطقه مغان در فصل پاییز انجام می‌شود. بنابراین اطلاع دقیق از شرایط آب و هوایی برای انجام این تحقیق امری ضروری می‌باشد بر این اساس در جدول ۱ گزارش اداره هواشناسی در روزهای برداشت محصول آورده شده است. در این تحقیق از مقادیر رطوبت هوا در این جدول استفاده شده است.

جدول ۱- گزارش اداره تحقیقات هواشناسی جهاد کشاورزی اردبیل (مغان) در روزهای برداشت محصول

Table 1- Report of Meteorological Researches Center of Ardabil Agriculture Jahad (Moghan) on harvesting days

رطوبت نسبی هوا در طول روز Air relative humidity during the day (%)	دمای هوا در بازه برداشت Harvesting temperature during the day (˚C)	ساعات برداشت در طول روز Harvesting times during the day
	گزارش هواشناسی در ۱۴ آبان ۱۳۹۶ Report of Meteorological on Nov. 5, 2017	
80-93	12-15	T_1: (8-10)
67-78	17-20	T_2: (11-13)
43-61	18-21	T_3: (14-16)
	گزارش هواشناسی در ۱۷ آبان ۱۳۹۶ Report of Meteorological on Nov. 8, 2017	
رطوبت نسبی هوا در طول روز Air relative humidity during the day (%)	دمای هوا در بازه برداشت Harvesting temperature during the day (˚C)	ساعات برداشت در طول روز Time of harvesting during the day
79-92	9-12	T_1: (8-10)
57-69	17-21	T_2: (11-13)
44-53	21-24	T_3: (14-16)
	گزارش هواشناسی در ۲۰ آبان ۱۳۹۶ Report of Meteorological on Nov. 11, 2017	
رطوبت نسبی هوا در طول روز Air relative humidity during the day (%)	دمای هوا در بازه برداشت Harvesting temperature during the day (˚C)	ساعات برداشت در طول روز Time of harvesting during the day
84-93	12-14	T_1: (8-10)
69-76	16-17	T_2: (11-13)
67-70	15-19	T_3: (14-16)

به‌منظور تعیین مناسب ترین زمان برداشت، تلفات کمباین غلات مدل جاندیر ۱۱۶۵ مجهز به هد برداشت ذرت در سه زمان مختلف برداشت در طول روز [T_1 (زمان اول) از ساعت ۱۰- ۸، T_2 (زمان دوم) از ساعت ۱۳- ۱۱ و T_3 (زمان سوم) از ساعت ۱۶-۱۴] و در تاریخ‌های ۱۴، ۱۷ و ۲۰ آبان ماه سال ۱۳۹۶ با سه تکرار اندازه‌گیری شد. تحقیق حاضر در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک-های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. با توجه به این‌که زمان برداشت برای محدوده‌های صبح، ظهر و بعدازظهر در نظر گرفته شده بود این بازه‌ها به‌عنوان نماینده صبح، ظهر و بعد از ظهر در طول روز تعیین شدند. به‌عنوان مثال در بازه زمانی صبح قبل از ساعت ۸ امکان برداشت به‌دلیل وجود رطوبت شبنم روی محصول میسر نیست. از ۸ الی ۱۱ را می‌توان به‌عنوان بازه صبح در نظر گرفت اما در بازه ۱۰ تا ۱۱ هم‌پوشانی بسیار زیادی بین تلفات اندازه‌گیری شده در مقاطع زمانی صبح و ظهر مشاهده شد. بنابراین این فاصله زمانی در مقاطع صبح و ظهر صرف‌نظر شد. همین‌طور از بازه زمانی ۱۳ الی ۱۴ بین ظهر و بعدازظهر نیز بدین منوال صرف‌نظر گردید. در ضمن برای شروع برداشت در مزرعه ضروری است که رطوبت محصول در بازه بین ۲۰ الی ۳۰ درصد باشد. اندازه کرت‌ها متناسب با عرض کمباین (۴/۵متر) در طول ۱۲ متر معادل با ۵۴ مترمربع و فاصله بین کرت‌ها دو متر بود. تلفات دانه در هر کرت با استفاده از دستورالعمل اندازه‌گیری تلفات در قسمت‌های مختلف کمباین اندازه‌گیری شد که این دستورالعمل توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج برگرفته از روش اندازه‌گیری پرایس (Price, 1997) توصیه شده است. در این اندازه‌گیری‌ها سرعت پیشروی کمباین بین ۴/۱-۴ کیلومتر بر ساعت، دور کوبنده حین برداشت محصول بین ۴۵۰ -۴۰۰ دور در دقیقه تنظیم شد. تراکم محصول ۷۵ هزار بوته در هکتار و عملکرد مزرعه‌ای محصول بعد از اتمام عملیات برداشت کل مزرعه توسط کمباین، ۶/۸۷ تن در هکتار اندازه‌گیری شد. تلفات قبل از برداشت (تلفات طبیعی) شامل دانه‌ها و بلال‌هایی است که از بوته‌های ایستاده جدا شده و روی زمین افتاده‌اند. با جمع‌آوری این بلال‌ها و

دانه‌ها در سه کرت به‌صورت تصادفی و توزین آنها، مقدار این تلفات در مزرعه مورد مطالعه محاسبه شد. تلفات واحد جمع‌آوری (تلفات سکوی برش) شامل تمام دانه‌ها و بلال‌های است که در اثر عملکرد هد کمباین در طی برداشت روی زمین ریخته شده و از دسترس خارج می‌شود که در اثر عواملی چون سرعت، عملکرد غلتک‌های کشنده، رطوبت بوته، ارتفاع برش و سرعت پیشروی پیش می‌آید. برای اندازه‌گیری آن تمام دانه‌ها و بلال‌های هر کرت را بعد از اتمام برداشت جمع‌آوری کرده و توزین می‌کنند. تلفات واحد فرآوری شامل بلال‌های کوبیده نشده و نیم‌کوب می‌باشد که در قاب چوبی به ابعاد ۵۰×۷۵ سانتی‌متر مربع در زیر کمباین مابین دو چرخ عقب ریخته شده است بر این اساس کل تلفات در برداشت مستقیم با کمباین به‌صورت رابطه (۱) محاسبه خواهد شد.

درصد تلفات کل کمباین=

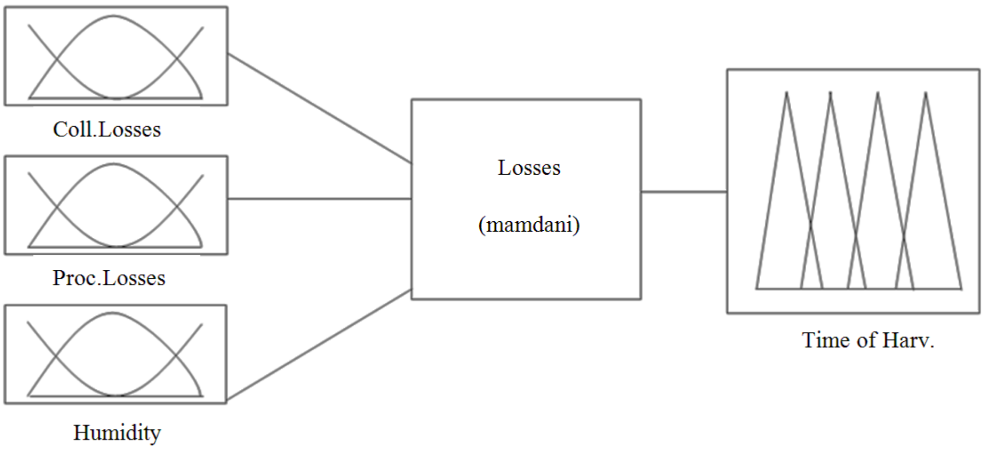
درصد تلفات واحد فرآوری + درصد تلفات واحد جمع‌آوری (۱)

بعد از اندازه‌گیری درصد تلفات در واحدهای جمع‌آوری و فرآوری تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطوح احتمال معنی‌دار توسط نرم‌افزار (SAS) و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

پیاده‌سازی سیستم فازی

اکثر تحقیقات در مورد زمان برداشت براساس اطلاعات هواشناسی و رطوبت محصول انجام گرفته است در حالی‌که در مدل پیشنهادی علاوه بر این‌که اطلاعات هواشناسی و رطوبت محصول در زمان برداشت لحاظ شده است از داده‌های اولیه کمباین ذرت (تلفات واحدهای فرآوری و جمع‌آوری) نیز استفاده می‌شود. روند کار به این صورت است که ابتدا مجوز لازم برای حضور کمباین در مزرعه با توجه به داده‌های هواشناسی و رطوبت محصول صادر می‌شود و سپس کمباین در یک سطح کوچکی از مزرعه عملیات برداشت را انجام می‌دهد در نهایت با توجه به خروجی سیستم فازی طراحی شده مجوز ادامه برداشت را اخذ می‌کند و یا از ادامه برداشت ممانعت به‌عمل می‌آید. در صورت ممانعت از برداشت، کمباین به مزرعه مجاور منتقل می‌شود و در صورت کسب مجوز لازم به برداشت محصول مبادرت می‌ورزد.

در این تحقیق با توجه به تاثیر تاریخ برداشت، زمان برداشت در طول روز و در نهایت رطوبت هوا در میزان تلفات کمباین ذرت، اقدام به پیاده‌سازی یک سیستم فازی برای پیش‌بینی بهترین زمان برداشت براساس میزان تلفات واحد فرآوری، واحد جمع‌آوری و درصد رطوبت هوا گردید. در این سیستم سه پارامتر درصد تلفات واحد فرآوری، درصد تلفات واحد جمع‌آوری و درصد رطوبت هوا به‌عنوان ورودی سیستم و مناسب‌ترین زمان برداشت ذرت به‌عنوان خروجی سیستم در نظر گرفته شدند. برای تعیین زمان برداشت ذرت از ابزار FIS (Fuzzy Inference System) در نرم‌افزار متلب ورژن R2013a استفاده شد که در شکل ۱ نشان داده شده است. این سیستم شامل سه ورودی و یک خروجی می‌باشد.

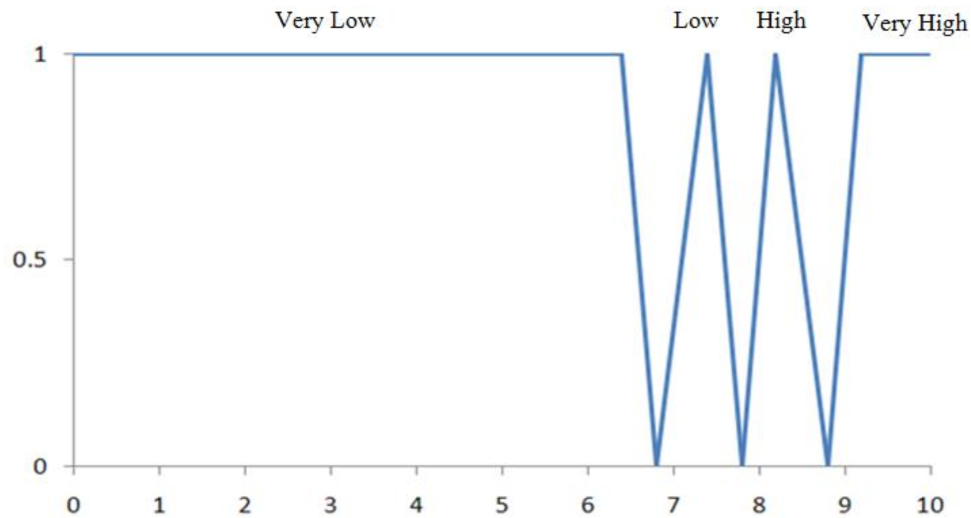


شکل ۱– مدل ایجاد شده توسط سیستم فازی خبره برای تعیین زمان برداشت ذرت

Fig.1. Generic model of expert fuzzy system to determine corn harvesting time

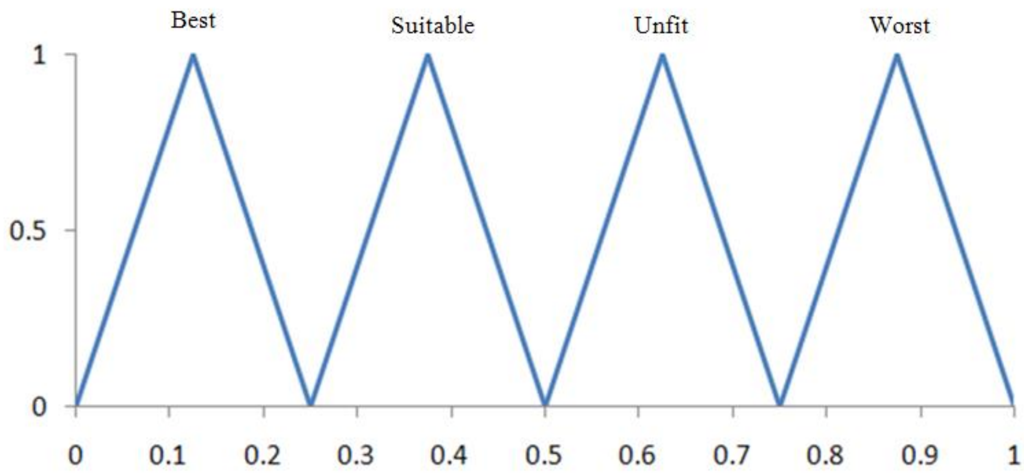
چهار گروه متغیر زبانی به هرکدام از پارامترهای ورودی (Very low, Low, High and Very high) و چهار گروه متغیر زبانی به خروجی (Best, Suitable, Unfit and Worst) اختصاص داده شد. برای متغیرهای زبانی ورودی و خروجی، توابع تعلق مثلثی و ذوزنقه‌ای به‌کار گرفته شدند (شکل‌های ۲ و ۳). در این تحقیق مقادیر ورودی نرمال‌سازی نشده است و از مقادیر تلفات و رطوبت محیط به‌صورت درصد استفاده شده است. دلیل این کار استفاده از مقادیر واقعی کمینه و بیشینه تلفات واحدهای جمع‌آوری و فرآوری از طریق داده‌های

تجربی و آماری ذکر شده در بخش‌های بعدی این تحقیق می‌باشد. در خروجی سیستم فازی (زمان برداشت) بازه بین صفر و یک به متغیرهای زبانی اختصاص یافت و این بازه به چهار قسمت مساوی با پله‌های ۰/۲۵ تقسیم شد. به عبارتی دیگر بازه بین صفر و ۰/۲۵ برای بهترین زمان برداشت (Best) و مابقی به همین ترتیب به متغیرهای بعدی اختصاص یافت. در ورودی‌ها برای متغیرهای Very low و Very high از توابع تعلق ذوزنقه‌ای و برای مابقی از توابع مثلثی استفاده شد (شکل ۲). در خروجی از توابع مثلثی استفاده شده است (شکل ۳).



شکل ۲– تابع عضویت برای ورودی تلفات واحد جمع‌آوری

Fig.2. Membership function for collecting unit losses input



شکل ۳– تابع عضویت برای خروجی زمان برداشت

Fig.3. Membership function for harvesting time output

با توجه به این‌که میانگین مقدار کمینه تلفات واحد جمع‌آوری ۶/۸۷ درصد و بیشینه آن ۸/۴۷ درصد محاسبه شده است (جدول ۳). بر این اساس تلفات کمتر از مقدار کمینه به‌عنوان تلفات خیلی کم (Very low) و تلفات بیشتر از مقدار بیشینه به‌عنوان تلفات خیلی زیاد (Very high) برای سیستم فازی طراحی شده اختصاص یافته است. بازه بین این دو مقدار نیز به دو فاصله مساوی تقسیم شده و برای متغیرهای زبانی تلفات کم (Low) و تلفات زیاد (High) اختصاص می‌یابند. مطابق با این روش، بازه‌های عددی مربوط به متغیرهای زبانی تلفات واحد فرآوری (میانگین مقدار کمینه تلفات واحد فرآوری ۳/۱۸ درصد و بیشینه آن ۴/۸۷ درصد) و درصد رطوبت هوا نیز مطابق

جدول ۱ (کمینه رطوبت هوا ۴۳ درصد و بیشینه آن ۹۲ درصد) اختصاص پیدا می‌کنند (شکل ۲). برای ایجاد سیستم فازی از موتور استنتاج ضرب با فازی‌ساز منفرد (singleton) و غیرفازی‌ساز میانگین مراکز (Center Average Defuzzifier) استفاده شده است. در موتور استنتاج ضرب از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع، استلزام حاصل‌ضرب ممدانی استفاده شده است. براین اساس موتور استنتاج می‌تواند به‌صورت رابطه (۲) نمایش داده شود (Laviolette and Seaman, 1994).

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^{M}\left[\sup\left(\mu_{A'}(x)\right)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\mu_{B^l}(y)\right] \quad (۲)$$

که در آن M تعداد ترکیب‌های خروجی جداگانه مجموعه فازی، $\mu_{A'}$ ورودی موتور استنتاج ضرب و $\mu_{B'}$ به‌عنوان خروجی می‌باشد. در این پـژوهش از غیـرفـازی‌سـاز میـانگین مراکـز که به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود، استفاده شده است

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^{M} y^{-1} w_l}{\sum_{l=1}^{M} w_l} \quad (۳)$$

در این رابطه y مرکز مجموعه فازی و w_l درجه ارتفاع آن می‌باشد (Laviolette and Seaman, 1994). در نهایت خروجی سیستم فازی از رابطه (۴) قابل تعیین است :

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^{M} y^{-l}\left(\prod_{i=1}^{l}\mu_{A_i^l}(x_i)\right)}{\sum_{l=1}^{M}\left(\prod_{i=1}^{l}\mu_{A_i^l}(x_i)\right)} \quad (۴)$$

که X∈U ورودی سیستم فازی و f(x)∈V خروجی سیستم فازی می‌باشد. سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد اگر– آن‌گاه بنا نهاده شده است، به طوری‌که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین ورودی و خروجی را به‌دست آورد. براساس این روابط شصت و چهار قانون فازی با عملگر منطقی AND، به خدمت گرفته شدند تا یک سیستم خبره موثر فازی برای تصمیم‌گیری در مورد زمان برداشت ذرت ایجاد گردد. قوانین فازی به کمک افراد خبره و باتجربه از کشاورزان و کمباین‌داران در منطقه مغان تنظیم و در سیستم فازی طراحی شده وارد شدند. تعداد پنج مورد از این قوانین در ادامه آورده شده است.

1. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is VeryLow) and (Humidity is VeryLow) then (TimeofHarv. is Best)
2. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is VeryLow) and (Humidity is Low) then (TimeofHarv. is Best)
3. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is VeryLow) and (Humidity is High) then (TimeofHarv. is Suitable)
4. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is VeryLow) and (Humidity is VeryHigh) then (TimeofHarv. is Unfit)
5. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is Low) and (Humidity is VeryLow) then (TimeofHarv. is Best)
6. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is Low) and (Humidity is Low) then (TimeofHarv. is Suitable)
7. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is Low) and (Humidity is High) then (TimeofHarv. is Unfit)
8. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is Low) and (Humidity is VeryHigh) then (TimeofHarv. is Unfit)
9. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is High) and (Humidity is VeryLow) then (TimeofHarv. is Suitable)
10. If (Coll.Losses is VeryLow) and (Proc.Losses is High) and (Humidity is Low) then (TimeofHarv. is Suitable)

که در آن‌ها Coll.Losses تلفات جمع‌آوری، Proc.Losses تلفات فرآوری، Humidity درصد رطوبت و TimeofHarv زمان برداشت را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در قانون اول اگر تلفات جمع‌آوری و فرآوری و درصد رطوبت بسیار پایین باشند آن‌گاه زمان مورد نظر بهترین زمان برداشت خواهد بود.

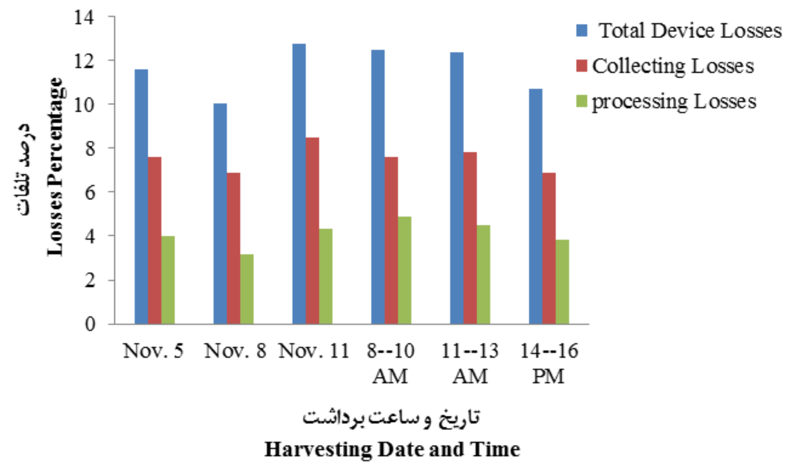
نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری تلفات ناشی از اثر زمان برداشت ذرت

با اندازه‌گیری پارامترهای مذکور (تلفات جمع‌آوری و تلفات فرآوری)، داده‌های آزمایش برای تجزیه و تحلیل به‌دست آمد. نمودار میله‌ای داده‌های اندازه‌گیری شده به عبارتی میانگین درصد تلفات اندازه‌گیری شده در سه تکرار در تاریخ‌های برداشت و ساعات برداشت در طول روز در شکل ۴ آورده شده است.

نتایج تجزیه واریانس تاریخ‌های برداشت و ساعات برداشت در طول روز بر تلفات واحد جمع‌آوری و واحد فرآوری کمباین در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تاریخ‌های برداشت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد و بین ساعات برداشت در طول روز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. به عبارتی می‌توان نتیجه گرفت که تاریخ‌های برداشت و ساعات برداشت در طول روز در میزان تلفات کمباین ذرت تاثیرگذار می‌باشند اما اثر متقابل آنها بر میزان تلفات معنی‌دار نیست. بر این اساس مقایسه میانگین تلفات واحدهای فرآوری و جمع‌آوری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است



شکل ٤– نمودار میانگین درصد تلفات در تاریخ‌های برداشت و ساعات برداشت در طول روز

Fig.4. Means diagram of losses percentage at harvesting dates and times during the day

جدول ۲– تجزیه واریانس تاریخ‌های برداشت و ساعات برداشت در طول روز بر تلفات واحد جمع‌آوری و واحد فرآوری کمباین

Table 2- Variance analysis of harvesting dates and times on collecting and processing device losses

منابع تغییرات **Sources of variations**	**درجه آزادی** **df**	**میانگین مربعات (Mean Squares)**	
		تلفات واحد جمع‌آوری **Collecting losses**	**تلفات واحد فرآوری** **Processing losses**
تاریخ‌های برداشت Harvesting dates (A)	2	18.25*	11.22*
ساعات برداشت در طول روز Harvesting times (B)	2	58.88**	121.61**
اثر متقابل Interaction (AB)	4	7.05ns	5.63ns
خطای A (Error A)	4	3.13	1.81
خطای کل (Total Error)	12		

ns عدم تفاوت معنی‌دار   * تفاوت معنی‌دار در سطح ٪۵   ** تفاوت معنی‌دار در سطح ٪۱

** Significant at 1% of probability level, * Significant at 5% of probability level, ns: not Significant

جدول ۳– مقایسه میانگین تلفات واحدهای فرآوری و جمع‌آوری با آزمون دانکن

Table 3- Compare means of collecting and processing losses by Duncan test

تیمارها **Treatments**		**درصد تلفات واحد فرآوری** **Collecting losses (%)**	**درصد تلفات واحد جمع‌آوری** **Processing losses (%)**	**درصد تلفات کل کمباین** **Total losses (%)**
تاریخ‌های برداشت Harvesting dates	Nov. 5	4.02 b	7.58 b	11.6 b
	Nov. 8	3.18 a	6.87 a	10.05 a
	Nov. 11	4.31 bc	8.47 c	12.78 c
ساعات برداشت در طول روز Harvesting times during the day	8–10	4.87 c	7.59 b	12.46 c
	11–13	4.52 bc	7.84 bc	12.36 bc
	14–16	3.82 a	6.88 a	10.7 a

حروف متفاوت در یک ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٪۵ می‌باشد.

Different letters within the same column indicate significant difference (P< 0.05)

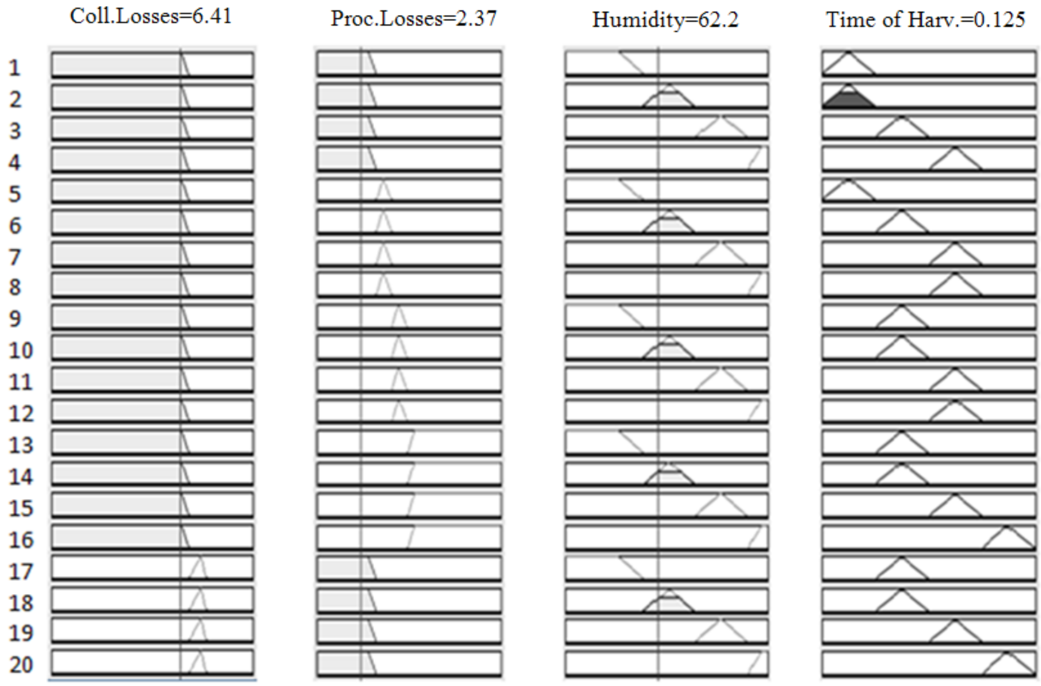
طبق این جدول در بین تاریخ‌های برداشت کمترین تلفات کل کمباین در تاریخ ۱۷ آبان ماه ۱۰/۰۵٪ (۶۹۰/۴ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد که از این مقدار ۶/۸۷٪ (۴۷۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد جمع‌آوری (هد) و ۳/۱۸٪ (۲۱۸/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد فرآوری می‌باشد. که با گزارش‌های دفتر طرح ذرت مطابقت دارد (حداقل تلفات کمباین‌های کشور ۱۰ درصد می‌باشد) (Mostofi Sarkari, 2011). بیشترین تلفات مربوط به ۲۰ آبان به مقدار ۱۲/۷۸٪ (۸۷۸ کیلوگرم در هکتار) بوده که از این مقدار ۸/۴۷٪ (۵۸۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد جمع‌آوری (هد) و ۴/۳۱٪ (۲۹۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد فرآوری است. در بررسی تاثیر سه زمان مختلف برداشت در طول روز بر مقدار تلفات ماشین اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین زمان‌های برداشت در طول روز در T_1، T_2 و T_3 مشاهده گردید و با توجه به داده‌های به‌دست آمده، بیشترین تلفات مربوط به T_1 (۸-۱۲) به مقدار ۱۲/۴۶٪ (۸۵۶ کیلوگرم درهکتار) که از این مقدار ۷/۵۹٪ (۵۲۱ کیلوگرم درهکتار) مربوط به تلفات واحد جمع‌آوری (هد) و ۴/۸۷٪ (۳۳۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد فرآوری است. از دلایل افزایش تلفات در این بازه بالا بودن درصد رطوبت نسبی هوا و کاهش دمای هوا طبق گزارش ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات کشاورزی مغان می‌باشد (جدول ۱). این موضوع باعث افزایش رطوبت محصول حین برداشت می‌شود و مشاهده شد که ساقه‌ها به دلیل ترد بودن به‌صورت ناگهانی قطع شده و بلال به بیرون از دماغه پرتاب می‌شود و در نتیجه تلفات محصول افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج تحقیقی که توسط راهاما و همکاران انجام گرفت مطابقت دارد به‌طوری‌که آن‌ها پارامترهای سرعت پیشروی، سرعت محیطی کوبنده، فاصله سیلندر و زیر سیلندری، اندازهٔ روزنهٔ الک‌ها، سرعت پروانه باد و رطوبت را اندازه‌گیری نمودند. آن‌ها هم‌چنین تلفات پلاتفرم، تلفات خرمن‌کوب، جداکننده و تمیزکننده را اندازه‌گیری نموده و میانگین تلفات را ۱۲ درصد گزارش کرده‌اند (Rahama *et al.*, 1997).

تلفات برداشت در T_3 (۱۴-۱۶) کمترین مقدار (۱۰/۷٪ (۷۳۵ کیلوگرم در هکتار)) را نشان می‌دهد به‌طوری‌که از این مقدار ۶/۸۸٪ (۴۷۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد جمع‌آوری (هد) و ۳/۸۲٪ (۲۶۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تلفات واحد فرآوری است. از دلایل کاهش تلفات در این بازه زمانی از طول روز می‌توان به افزایش دمای هوا و کاهش رطوبت هوا اشاره کرد (جدول ۱). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که تلفات برداشت به شدت متاثر از شرایط آب و هوایی است (DeToro *et al.*, 2012; Nazmi *et al.*, 2010). با وجود این در منطقه مغان کشت ذرت در کشت و صنعت‌های مختلف در سطح وسیعی انجام می‌گیرد و رطوبت محصول قابل برداشت در نواحی مختلف در یک کشت صنعت واحد متغیر می‌باشد. بر این اساس در این تحقیق برای انتخاب محل مناسب برداشت از پارامترهای درصد رطوبت هوا و میزان تلفات کمباین در سطح کوچکی از مزرعه استفاده می‌شود. به عبارت دیگر ابتدا کمباین مجوز لازم برای حضور در مزرعه را از روی داده‌های هواشناسی دریافت می‌کند سپس کمباین در یک سطح کوچکی از مزرعه عملیات برداشت را انجام می‌دهد و تلفات مورد نظر در آن سطح اندازه‌گیری می‌شوند. این میزان تلفات در سیستم فازی وارد شده و مجوز برداشت صادر می‌گردد. این کار دو مزیت را در پی خواهد داشت اولاً ترتیب برداشت مزرعه‌های مختلف در یک کشت و صنعت واحد (با شرایط آب و هوایی و کاشت یکسان) تعیین می‌شود ثانیاً تلفات کمباین‌های فرسوده موجود در کشت و صنعت‌های مغان بعلت برداشت در زمان مناسب به حداقل مقدار ممکن می‌رسد زیرا به‌طور عمومی اکثر کمباین‌ها در این منطقه تلفاتی بیش از ۱۰ درصد دارند (Mostofi Sarkari, 2011). در حالی‌که در تحقیق انجام گرفته در کشور برزیل حداکثر تلفات کمباین ذرت ۳/۶ درصد گزارش شده است (Paulsen *et al.*, 2014). دلیل اصلی این تناقض فرسودگی اکثر کمباین‌های موجود در منطقه مغان می‌باشد به‌طوری‌که در کشور برزیل از کمباین‌های پیشرفته و مجهز به سیستم‌های کنترل اتوماتیک برای جلوگیری از تلفات دانه در واحد جمع‌آوری و واحد فرآوری آنها استفاده می‌شود.

تحلیل نتایج سیستم فازی طراحی شده

بعد از پیاده‌سازی سیستم فازی مطابق موارد ذکر شده در بخش‌های بالایی، می‌توان از این سیستم برای پیش‌بینی بهترین زمان برداشت ذرت استفاده نمود. در این بخش ابتدا مدل شبیه‌سازی سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس سیستم فازی طراحی شده با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای به‌دست آمده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

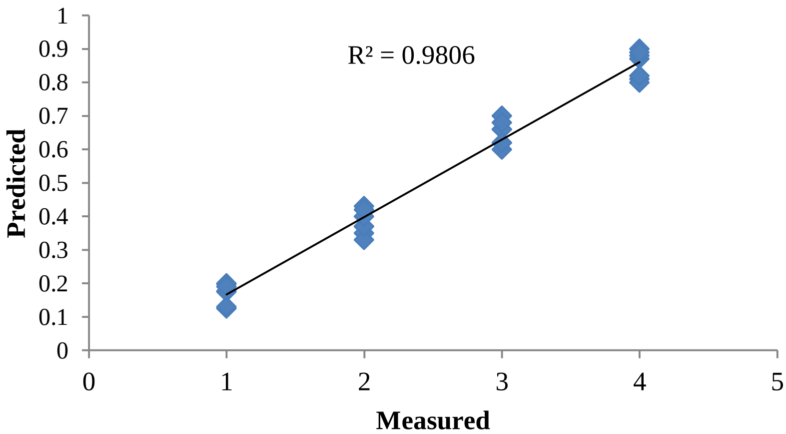
به‌طوری‌که در مدل شبیه‌سازی فازی مشاهده می‌شود (شکل ۵) می‌توان با وارد کردن مقادیر تلفات واحد فرآوری و واحد جمع‌آوری و درصد رطوبت محیط، مناسب بودن یا عدم مناسب بودن زمان برداشت ذرت را پیش‌بینی نمود. این شکل بهترین زمان برداشت (Time of harv.=0.125) را مطابق با داده‌های وارد شده برای تلفات و رطوبت هوا نشان می‌دهد به عبارت دیگر بازه بین صفر و ۰/۲۵ در خروجی به بهترین زمان برداشت (Best) اختصاص یافته است.



شکل ۵- مدل شبیه‌سازی سیستم فازی طراحی شده

Fig.5. Simulation model of the fuzzy system designed

نتایج پیش‌بینی با استفاده از سیستم خبره فازی مقادیر بسیار نزدیکی را با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده زمان برداشت ذرت در شرایط کاری مختلف در شکل ۶ ارائه شده است. ضریب تبیین مدل بین زمان برداشت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط سیستم فازی ۰/۹۸ به‌دست آمد. مقدار بسیار نزدیک به ۱ برای این ضریب نشانگر همبستگی زیاد بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده است و این موضوع را بیان می‌کند که سیستم فازی طراحی شده با دقت بالایی زمان برداشت ذرت پیش‌بینی می‌کند. در محور افقی این نمودار عدد یک بهترین زمان برداشت (Best)، عدد دو مناسب بودن زمان برداشت (Suitable)، عدد سه نامناسب بودن زمان برداشت (Unfit) و عدد چهار بدترین زمان برداشت (Worst) را نشان می‌دهند که توسط داده‌های مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. در محور عمودی بازه بین ۰-۰/۲۵ بهترین زمان برداشت، بازه بین ۰/۲۵-۰/۵ مناسب بودن زمان برداشت، بازه بین ۰/۵-۰/۷۵ نامناسب بودن زمان برداشت و ۰/۷۵-۱ بدترین زمان برداشت را نشان می‌دهند که توسط سیستم فازی پیش‌بینی شده اند.



شکل ٦- رابطه بین زمان برداشت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط سیستم فازی

Fig.6. Relationship between measured and predicted harvesting time by fuzzy logic system

برای تست و ارزیابی سیستم فازی طراحی شده از همان داده‌های مزرعه‌ای در تاریخ‌ها و زمان‌های مشخص در بخش قبلی این تحقیق (تلفات اندازه‌گیری شده) استفاده شد و خروجی سیستم فازی به‌عنوان مقادیر پیش‌بینی شده در نظر گرفته شد. که نمونه‌ای از این داده‌ها در جدول ۴ آورده شده است. بدین صورت که با وارد کردن درصد تلفات فرآوری و جمع‌آوری محاسبه شده در مزرعه و نیز رطوبت هوا خروجی سیستم فازی مطابق با جدول ۴ مناسب و یا نامناسب بودن زمان برداشت را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که در این جدول بخشی از خروجی سیستم فازی نشان داده شده است. به‌عبارتی دیگر می‌توان هر مقدار تلفات واحدهای فرآوری و جمع‌آوری را به همراه درصد رطوبت هوا در سیستم فازی طراحی شده وارد نمود و زمان برداشت ذرت را پیش‌بینی کرد.

جدول ٤- پیش‌بینی زمان برداشت ذرت با استفاده از سیستم فازی طراحی شده

Table 4- Prediction of corn harvesting time using the fuzzy system designed

زمان برداشت (Harvesting time) **تاریخ برداشت (Harvesting date)**	**8-10 AM**	**11-13 AM**	**14-16 PM**
۱۴ آبان Nov. 5	Worst	Unfit	Suitable
۱۷ آبان Nov. 8	Worst	Suitable	Best
۲۰ آبان Nov. 11	Worst	Unfit	Suitable

این جدول بیانگر این موضوع می‌باشد که بهترین زمان برداشت محصول در روز ۱۷ آبان در ساعت ۱۴ الی ۱۶ می‌باشد. به عبارتی در زمانی‌که تلفات واحد فرآوری کمتر از ۳/۱۸ و تلفات واحد جمع‌آوری کمتر از ۶/۸۷ درصد و رطوبت بین ۴۴ الی ۵۳ درصد باشد بهترین زمان برداشت محصول (Best) خواهد بود. همچنین این جدول نشان می‌دهد که تاریخ ۱۷ آبان و ساعات ۱۳-۱۱ و تاریخ‌های ۱۴ و ۲۰ آبان و ساعات ۱۴ الی ۱۶ زمان مناسب برداشت (Suitable) می‌باشند. در کلیه روزهای برداشت، ساعت ۸ الی ۱۰ بدترین زمان برداشت پیش‌بینی شده است. این موضوع به دلیل بالا بودن درصد رطوبت نسبی هوا و کاهش دمای هوا در این بازه زمانی (مطابق جدول ۱) می‌باشد که باعث افزایش رطوبت محصول حین برداشت شده و موجب قطع ناگهانی ساقه و پرتاب بلال به بیرون از دماغه می‌شود. بنابراین تلفات برداشت افزایش می‌یابد. این نتیجه‌گیری با نتایج تجزیه و تحلیل آماری در بخش‌های بالا نیز مطابقت کامل دارد. در ضمن قابل ذکر است که در اوایل فصل برداشت بهتر است برداشت در ساعات اولیه صبح صورت نگیرد ولی در اواخر دوره به دلیل خشک شدن بیش از حد محصول برداشت در این ساعات توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی مشاهدات میدانی و تجربی طرح، می‌توان نتیجه گرفت که در برداشت ذرت در منطقه مغان میزان رطوبت، تاریخ و ساعت برداشت در روز از جمله عواملی هستند که در میزان تلفات محصول هنگام برداشت تاثیرگذار هستند. جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تاریخ‌های برداشت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد و بین ساعات برداشت در طول روز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن، بهترین تاریخ برداشت ذرت در منطقه مغان، ۱۷ آبان ماه و بهترین زمان برداشت، بین ساعات ۱۶- ۱۴ بعدازظهر با دمای ۲۴-۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی٥۳٪-٤٤٪ می‌باشد. میزان تلفات در زمان مذکور ۱۰/۰۵ درصد اندازه‌گیری شد به‌طوری‌که با حداقل تلفات گزارش شده توسط دفتر طرح ذرت (۱۰ درصد) مطابقت دارد.

در ادامه تحقیق با توجه به تاثیر تاریخ برداشت، زمان برداشت در طول روز و در نهایت رطوبت هوا در میزان تلفات برداشت، برای پیش‌بینی بهترین زمان برداشت براساس میزان تلفات واحد فرآوری، واحد جمع‌آوری و درصد رطوبت هوا اقدام به پیاده‌سازی یک سیستم فازی گردید. به‌طوری‌که با اندازه‌گیری تلفات مذکور در یک سطح کوچکی از مزرعه و رطوبت هوا به‌عنوان ورودی سیستم فازی می‌توان زمان مناسب برداشت ذرت را پیش‌بینی نمود. نتایج پیش‌بینی با استفاده از سیستم خبره فازی مقادیر بسیار نزدیکی را با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داد. به طوری‌که ضریب تبیین مدل برای پیش‌بینی زمان برداشت ذرت ۰/۹۸ به‌دست آمد. این ضریب نشانگر همبستگی زیاد بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده است و این موضوع را بیان می‌کند که سیستم فازی طراحی شده با دقت بالایی زمان برداشت ذرت را پیش‌بینی می‌کند.

References

1. Craessaerts, G., J. De Baerdemaeker, B. Missotten, and W. Saeys. 2009. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester. Biosystems Engineering 106: 103-111.
2. FAO statistics. 2015. The Food and Agriculture Organization statistics: Corp, Maize, production quantity, Available at: http://www.fao.org/faostat/en/#data/ QC.
3. Humburg, D. 2016. Combine Adjustments to Reduce Harvest Losses. Chapter 37 in Clay, D.E., C.G. Carlson, S.A. Clay, and E. Byamukama eds. Best Management Practices. South Dakota State University.
4. DeToro, A., G. Gunnarsson, G. Lundin, and N. Jonsson. 2012. Cereal harvesting strategies and costs under variable weather conditions. Biosystem Engineering 3: 429-439.
5. Karatalopoulos, S. V. 2000. Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic- Basic Concepts and Applications. Prentice Hall, New-Delhi, India.
6. Kordi, S. 2012. Effects of urea foliar application, harvesting time and seed drying methods on agronomical traits and seed quality of corn in Khorramabad conditions. Faculty of agriculture. Ilam University, Ilam, Iran. (In Farsi).
7. Laviolette, M. and J. W. Seaman. 1994. The efficiency of fuzzy representations of uncertainty. IEEE Trans. Fuzzy Systems 2: 4-15.
8. Mostofi Sarkari M. R. 2011. Investigation & determination of corn combine harvester losses to introduce an appropriate methods to reduce losses. Journal of Agricultural Machinery Engineering 1(1): 10-16. (In Farsi).
9. Mostofi Sarkari M. R., M. S Valiahdi, and I. Ranjbar. 2014. Field Evaluation of Cereal Combine Harvesters Processing Losses on JD-955 and JD-1165 Combines Equipped with Grain Loss Monitor. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 335-343. (In Farsi).
10. Nazmi, M.W., G. Chen, and D. Zare. 2010. The effect of different climatic conditions on wheat harvesting strategy and return. Biosystems Engineering 106: 493-502.
11. Omid, M., M. Lashgari, H. Mobli, R. Alimardani, S. Mohtasebi, and R. Hesamifard. 2010. Design of fuzzy logic control system incorporating human expert knowledge for combine harvester. Expert Systems with Applications 37: 7080-7085.
12. Paulsen, M. R., F. D. A. D. C. Pinto, D. G. De Sena, R. S. Zandonadi, S. Ruffato, A. G. Costa, and M. G. C. Danao. 2014. Measurement of combine losses for corn and soybeans in Brazil. Applied Engineering in Agriculture 30 (6): 841-855.
13. Price, T. 1997. Growing dryland maize, Agricultural Extention Office, Northern Territory, Australia.
14. Prochnow, A., H. Risius, T. Hoffmann, and F. M. Chmielewski. 2015. Does climate change affect period, available field time and required capacities for grain harvesting in Brandenburg, Germany? Agricultural and Forest Meteorology 203 (0): 43e53
15. Rahama A. M., M. E. Ali, and M. I. Dawel Beit. 1997. On-farm evaluation of combine harvester losses in the Gezira Scheme in Sudan. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 28 (2): 23-26.
16. Ross, J. T. 1995. Fuzzy Logic with engineering applications. New York: McGraw Hill Inc.
17. Shauck, T. C., and R. J. Smeda. 2011. Factors Influencing Corn Harvest Losses in Missouri. Crop Management. Online. 10.1094/CM-2011-0926-01-RS. Available at: www.plantmanagementnetwork.org/cm/
18. Shay C., L.V. Ellis, and W. Hires. 1999. Measuring and Reducing Corn Harvesting Losses, Department of Agricultural Engineering, University of Missouri-Columbia.
19. Spengler A., S. Memleben. 2003. Combine harvesting at large scale enterprises in Europe. Proceedings of the international conference on crop harvesting and processing. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). Pub. # 701P1103e. Louisville, Kentucky, USA.
20. Suleiman, A. R. 2015. Current Maize Production, Post-harvest Losses and the Risk of Mycotoxins Contamination in Tanzania. An ASABE Meeting Presentation, 26e29, 2015. Paper No. 152189434. ABSAE, St. Joseph MO, USA.
21. Tolera, A., F. Sundstøl, and A. N. Said. 1998. The effect of stage of maturity on yield and quality of maize grain and stover. Animal Feed Science and Technology 75 (2): 157-168.
22. Wang, L. X. 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice-Hall.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 229-240

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۴۰-۲۲۹

The Effect of Harvesting Time in Moghan on Corn Losses and its Prediction using Fuzzy Logic

M. Abbasgholipour[1*]

Received: 05-06-2018
Accepted: 08-01-2019

Introduction

Corn harvest losses are imposed by several factors, the most important of which is harvesting-time. Since the harvesting-time is coincident with the rainy season, it is necessary to appropriately estimate the corn harvest time to avoid harvesting losses and losing the next cultivation. Accordingly, in the current research, the effect of harvesting-time on corn losses during the month and the day has been into consideration. An expert fuzzy system was designed to predict the best harvest time as it operates based on the losses amounts which are measured in processing and collection units into the combine, and losses due to the humidity percentage.

Materials and Methods

In this paper, corn harvest losses in a John Deere Combine, Model 1165, was studied in a different climatic circumstance in Moghan region. Moreover, a split plot experiment in a completely randomized block design was conducted with three replications. The losses data were collected from the processing and collection units of the combine harvester on the November 5th, 8th and 11th, 2017, in three different daily times of 8-10, 11-13 and 14-16 with three replications. The Mamdani fuzzy inference system with singleton fuzzifire and center average defuzzifire was used to develop a fuzzy expert system. In the designed expert system, the losses percentage in the processing and collection units and the humidity percentage were considered as system inputs and optimal harvesting time was used as the system output. "Low, Very low, high and very high" and "Best, Suitable, Unfit, and Worst" were four groups of linguistic variables for input and output parameters, respectively. These variables follow the triangular and trapezoidal membership functions. The number of 64 fuzzy rules were considered and introduced into the fuzzy system by experts, experienced farmers, and combiners. Furthermore, the same field data (measured data) were applied to evaluate the designed system, so that the predicted value was accounted as the system output.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that there was a significant difference between the harvesting dates at the 0.05 probability level and significant difference between the harvesting times of a day at the 0.01 probability level. It can be concluded that the harvest dates and harvest times of a day were very effective in the number of corn losses, but the interaction effects were not significant. The results appeared that the lowest losses were 10.05% on November 8th, 2017, at 14-16 p.m., and the highest losses were 12.88% on November 11th, 2017, at 8-10 a.m. The amount of losses was increased due to the higher air humidity and lower temperature. In the fuzzy simulation model, the suitable harvesting-time can be predicted based on the losses quantities in the processing and collection units and the humidity percentage. The results showed that the predicted values for harvesting-times, by a designed fuzzy system, were completely matched with measured values in this study. The coefficient of determination (R^2) was 0.980 between measured and predicted harvesting times. This coefficient demonstrated that the developed fuzzy logic system was suitable for prediction of harvesting time in the studied area.

Conclusions

The experimental observations in the field and data analysis showed that in the corn harvesting in the Moghan region, the humidity level, date, and harvesting-time were the most effective factors in the harvesting losses. In this paper, based on measured data from a small farm and implementation of the expert fuzzy system, the most suitable harvest date was set on November 8th at 14-16 p.m, at 21-24°C and relative humidity of 44%-53% to have 10.5% losses which has been confirmed by the lowest losses observed in the corn plan (10%). Moreover, the high value of the determination coefficient demonstrates a high correlation between measured and predicted data.

Keywords: Fuzzy expert system, Harvest losses, Harvesting time

1- Assistant Professor, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran
(*- Corresponding Author Email: Abbasgholipour@bonabiau.ac.ir)